



Closed Carbon Cycle Mobility – Klimaneutrale Kraftstoffe für den Verkehr der Zukunft

F. Schorn, J. Häusler, J. L. Breuer, S. Weiske, J. Pasel, R. C. Samsun, R. Peters

Energie & Umwelt / Energy & Environment

Band / Volume 582

ISBN 978-3-95806-636-6

Forschungszentrum Jülich GmbH
Institut für Energie- und Klimaforschung
Elektrochemische Verfahrenstechnik (IEK-14)

Closed Carbon Cycle Mobility – Klimaneutrale Kraftstoffe für den Verkehr der Zukunft

F. Schorn, J. Häusler, J. L. Breuer, S. Weiske, J. Pasel,
R. C. Samsun, R. Peters

Schriften des Forschungszentrums Jülich
Reihe Energie & Umwelt / Energy & Environment

Band / Volume 582

ISSN 1866-1793

ISBN 978-3-95806-636-6

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	7
Tabellenverzeichnis.....	13
Abkürzungsverzeichnis	17
1 Einleitung.....	19
1.1 Aufgabenstellung und Zieldefinition	19
1.2 Methodisches Vorgehen	20
1.3 Struktur des Abschlussberichtes.....	21
2 Literaturanalyse im Themenfeld alternative Kraftstoffe	23
2.1 Stand der Forschung der synthetischen Kraftstoffproduktion.....	23
2.2 Techno-ökonomische Analysen der erneuerbaren Methanolsynthese ..	26
2.3 Methanol-zu-Kohlenwasserstoffe Synthese	29
2.3.1 Reaktionsmechanismus.....	29
2.3.2 Folgeprodukte von Methanol	33
2.3.2.1 Methanol-zu-Benzin	34
2.3.2.2 Methanol-zu-höheren-Alkoholen	37
3 Ergebnisse Arbeitspaket A: Methanolproduktion	39
3.1 CO ₂ -Wäsche in industriellen Gebieten.....	39
3.1.1 Potenziale industrieller CO ₂ -Emissionen.....	39
3.1.2 Entstehung der prozessbedingten CO ₂ -Emissionen	41
3.1.3 Definition der Abscheidearten für Industrieprozesse:.....	44
3.1.4 Vergleich der Energiebedarfe verschiedener CO ₂ -Abscheidetechnologien.....	49
3.2 Kohlenstoff aus Biomasse und Siedlungsabfällen	51
3.2.1 Entstehung und Potenziale der CO ₂ -Quellen	51
3.2.2 CO ₂ -Abscheidetechnologien für Biogasanlagen	54
3.2.3 Energiebedarf	58
3.2.4 Kosten	59
3.3 CO ₂ -Abtrennung aus der Luft.....	61
3.3.1 Einleitung in die CO ₂ Abtrennung aus der Luft.....	61

3.3.2	Kontaktierung.....	63
3.3.3	Ab/ adsorption.....	64
3.3.4	Regeneration	65
3.3.5	Bewertungskategorien der DAC-Technologien	70
3.3.6	Literaturbasierte Kostenschätzung	73
3.4	Zusammenfassung der Analysen der CO ₂ -Quellen	74
3.5	Elektrolyse	76
3.6	Methanolsynthese.....	82
3.6.1	Prozessschema	83
3.7	Zusammenfassung und Fazit Kapitel 3: Methanolproduktion.....	89
4	Methodik der techno-ökonomischen Bewertung der Syntheserouten.....	91
4.1	Systemgrenzen und allgemeines Vorgehen.....	91
4.2	Definition techno-ökonomischer Randbedingungen.....	93
4.2.1	Verfahrenstechnische Bauteilauslegung	93
4.2.2	Investitions- und Betriebskostenrechnung.....	98
4.3	Leistungskennzahlen	101
4.3.1	Energetische Kennzahlen	102
4.3.2	Ökonomische Kennzahlen.....	104
5	Ergebnisse Arbeitspaket E1: Prozesssimulation der Methanol-Folgeprodukte	107
5.1	Ether	108
5.1.1	Dimethylether.....	108
5.1.2	Polyoxymethyldimethylether	109
5.1.2.1	Synthese von Formaldehyd.....	110
5.1.2.2	Synthese von Trioxan.....	112
5.1.2.3	Synthese von kurzkettigen Polyoxymethyldimethylether (OME ₁)	115
5.1.2.4	Synthese von OME ₃₋₅ nach Route A	117
5.1.2.5	Synthese von OME ₃₋₅ nach Route B	119
5.1.2.6	Synthese von OME ₃₋₅ nach Route C	121
5.1.3	Zusammenfassung der technischen Analyse der Ethersynthesen	123
5.2	Höhere Alkohole	125
5.2.1	Ethanol-Route.....	126

5.2.2	MtO-Route	128
5.2.2.1	MtO-Synthese	128
5.2.2.2	Oxo-Synthese.....	130
5.2.2.3	Buten Hydratisierung.....	132
5.2.3	Oktanolsynthese aus Butanol.....	133
5.2.4	Zusammenfassung der technischen Analyse der Alkoholsynthesen	134
5.3	Benzin	136
5.4	Fazit Prozesssimulation	139
6	Ergebnisse Arbeitspaket B: Reaktionstechnische Analyse der Synthese höherer Alkohole.....	141
6.1	Synthese von i-Butanol	141
6.1.1	Kinetische Experimente mit der Temporal Analysis of Products- Methode zur Dehydrierung von Ethanol	144
6.1.2	Temperaturabhängigkeiten in der Synthese von i-Butanol	149
6.1.3	Konzentrationsabhängigkeiten der i-Butanolsynthese	151
6.1.4	Monometallische Katalysatoren in der Guerbet Reaktion	155
6.1.5	Synthese bimetallischer Katalysatoren für die i-Butanol Synthese	159
6.2	Synthese von 1-Oktanol.....	163
6.2.1	SiO ₂ -basierte Katalysatoren	164
6.2.2	Amin funktionalisierte Katalysatoren	165
7	Ergebnisse Arbeitspaket E2: Ökonomische Analyse der Methanol-Folgeprodukte	169
7.1	Ökonomische Analyse der Methanol-Gestehungskosten.....	169
7.2	Produktgestehungskosten der Methanol Folgeprodukte	172
8	Ergebnisse Arbeitspaket E4: Systemanalytische Betrachtung	179
8.1	Methanolimport aus Vorzugsgebieten.....	180
8.2	Vergleich zu alternativen Kraftstoffsyntheserouten	182
8.3	Fazit - Bewertungsmatrix der Kraftstoffrouten	185
9	Zusammenfassung	191

9.1	Techno-Ökonomische Bewertung nach den Ergebnissen der Arbeitspakete A, E1 und E3	191
9.2	Analyse der Synthese höherer Alkohole nach den Ergebnissen der Arbeitspakete B2 und B4	192
10	Anhang.....	195
10.1	Anhang zu Kapitel 5.....	196
10.2	Anhang zu Kapitel 8.....	196
	Literaturverzeichnis.....	199

Energie & Umwelt / Energy & Environment
Band / Volume 582
ISBN 978-3-95806-636-6